



Рисунок 3 – Залежність сумарної результуючої продольних сил від натяження полоси

полоси. Следовательно, одним из ограничений при выборе режима натяжения металла является продольная устойчивость полоси в валках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенюта А.Я. Определение удельных давлений при прокатке широких полос средней толщины / А.Я.Семенюта // Обработка металлов давлением: научные труды ДМетИ. – М.: Metallurgizdat, 1967. – Т52. – С.118-123.
2. Семенюта А.Я. Определение положения нейтральной линии при прокатке полоси средней толщины / А.Я.Семенюта // Обработка металлов давлением: научные труды ДМетИ. – М.: Metallurgizdat., 1971. – Т57. – С.162-166.
3. Деркач В.А. Численный анализ напряженного состояния прокатываемого металла с помощью ЭЦВМ / В.А.Деркач, М.А.Зайков, В.С.Целуйков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1968. – №10. – С.87-92.
4. Шевченко К.Н. Закон трения при прокатке и другие замечания / Шевченко К.Н. // Теория прокатки: конф. по теоретическим вопросам прокатки, 1962 г.; материалы конф. – М.: Metallurgizdat, 1962. – С.459-461.
5. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке / А.П.Грудев. – М.: Metallurgizdat, 1973. – 288с.
6. Сафьян М.М. Прокатка широкополосной стали / М.М.Сафьян. – М.: Металлургия, 1969. – 460с.

Поступила в редколлегию 26.05.2014.

УДК 621.771.2-5

МЕЩАНИНОВ С.К. д.т.н., професор
БАГРІЙ В.В., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ПОПЕРЕЧНО-ПРОФІЛЬНОЇ ПРОКАТКИ

Вступ. Для отримання деталей типу ступінчастих валів, осей, штифтів, шпильок, роликів підшипників і так далі розроблено та застосовуються автоматизовані комплекси поперечно-профільної прокатки (ППП), які об'єднують усі операції технологічного процесу в єдиний керований ланцюг [1, 2]. Ефективність і конкурентоспроможність такої технології в порівнянні з обробкою різанням залежить від підвищення коефіцієнта використання металу та продуктивності.

Постановка задачі. Досягненню поставлених цілей сприяє широка автоматизація технологічного процесу на основі застосування автоматизованих модулів обладнання, мікропроцесорної техніки.

Метою роботи є підвищення коефіцієнта використання металу та продуктивності автоматизованих комплексів на основі розроблених стратегій управління, які потребують встановлення обґрунтованого критерію ефективності та методів взаємозв'язку підсистем.

Результати роботи. Встановити взаємозалежність між перерахованими критеріями в аналітичній формі украй складно, тому шляхом їх формального об'єднання на основі формування функції корисності пропонується складений узагальнений мультипликативний критерій:

$$J = V \cdot K = \frac{L - L_{втр} \pm L_{под}}{t_{обр} \cdot l_{дет}} \cdot \frac{L - L_{втр} \pm L_{под}}{L}, \quad (1)$$

де V – відносна швидкість виходу придатного прокату з початкового матеріалу;

K – коефіцієнт використання матеріалу; L – довжина дроту в початковому бунті, м;

$L_{втр}$ – сумарні втрати матеріалу, м; $l_{дет}$ – довжина прокатої деталі, м;

$L_{под}$ – сумарне подовження прутка внаслідок пластичної деформації;

$t_{обр}$ – сумарні витрати часу на обробку, с.

Сумарні втрати матеріалу в процесі прокатки можна оцінити виразом:

$$L_{втр} = \sum_{i=1}^n \Delta l_i + \sum_{j=1}^N \Delta l_{обрj} + \sum l_{бр}, \quad (2)$$

де Δl_i – довжина відрізного відходу при прокатці i -тої деталі ($i=1..n$);

n – кількість прокатаних деталей;

$\Delta l_{обрj}$ – довжина обрізи на кожному j -тому мірному прутку ($j=1..N$);

N – кількість мірних прутків в бунті дроту;

$\sum l_{бр}$ – сумарний брак, пов'язаний з перевищенням допуску на розміри готових деталей.

Час, витрачений на виконання усіх необхідних технологічних операцій на автоматичному комплексі ППП,:

$$t_{обр} = \sum_{i=1}^n t_{0i} + \sum_{j=1}^N (t_{нзj} + K_n \cdot t_{мпj}), \quad (3)$$

де t_{0i} – час повного циклу прокатки i -тої деталі у валковому інструменті, с;

$t_{нзj}$ – час перезавантаження механізму подачі j -тим мірним прутком, с;

$t_{мпj}$ – час транспортування j -го мірного прутка до цанги механізму подачі, с;

K_n – коефіцієнт що враховує перекриття операцій транспортування і прокатки j -го прутка.

Час повного циклу прокатки деталі визначається частотою обертання валкового інструменту:

$$t_{0i} = 1/\omega, \quad (4)$$

де ω – частота обертання валкового інструменту.

За час повного циклу відбувається послідовне поєднання усіх ділянок клинів валкового інструменту в точці, розташованій на осі установки механізму подачі, чим і задаються обмеження на час виконуваних ним операцій. При поєднанні завантажувальних ділянок, які характеризуються заниженням радіусу нижче за нульову робочу пове-

рхню валків, механізм подачі забезпечує переміщення прутка упоперек валкового інструменту на необхідну довжину за час, обмежений умовою

$$t_{inod} \leq \varphi / (2 \cdot \pi \cdot \omega), \quad (5)$$

де φ – центральний кут, відповідний завантажувальній ділянці на валковому інструменті.

Експериментально встановлено, що величина помилки подачі залежить від величини кінетичної енергії, яку має пруток в кінцевій точці позиціонування. У момент зупинки динамічне зусилля, прикладене до прутка, перевищує силу зчеплення його з цангою, і спостерігається прослизання прутка відносно цанги. Надлишок довжини подачі на кожній деталі віддаляється ножами валкового інструменту як відрізний відхід Δl_i . В ході прокатки маса прутка зменшується у міру його вироблення, що призводить і до зменшення величини помилки подачі.

Час перезавантаження механізму подачі мірним правленим прутком t_{nzj} в автоматичному режимі роботи комплексу складає 2-5 с і витрачається на виконання операцій установки цанги у фіксоване положення перед перезавантаженням, на перезавантаження з наступною синхронізацією початкового положення прутка і завантажувальних ділянок на валковому інструменті.

Час транспортування мірного правленого прутка до цанги механізму подачі t_{mpi} визначається частотою обертання транспортувальних роликів правильно-відрізного автомата. Діапазон зміни швидкості правки обмежений певним співвідношенням між частотою обертання правильної рамки та швидкістю подачі, що визначає якість правки і підбирається в режимі наладки правильно-відрізного автомата.

Обріз на кожному мірному прутку спостерігається у тому випадку, якщо його довжина не відповідає сумі подач, необхідних для отримання цілого числа прокатаних деталей. При цьому довжина кінцевої обрізі відповідає умові $l_{обр} < l_{дет}$.

Коефіцієнт використання металу при прокатці деталей складає 0.8-0.9, середня продуктивність 1 дет./с. За значимістю впливу складових на приведений узагальнений критерій слід виділити втрати матеріалу у вигляді відходу при прокатці кожної деталі і наявність обрізі з кожного початкового прутка, які відповідно складають 80% і 15% від сумарних втрат. Витрати часу безпосередньо на прокатку деталей у валковому інструменті складають від 50% до 90% від загальних витрат часу на отримання готових деталей.

Номенклатура освоєних на комплексах деталей досить широка. Так довжина готових деталей складає 10-150 мм при діаметрі початкового прутка 1.5-6.0 мм. При прокатці на виробі з високою точністю формуються циліндричні, сферичні і інші складні поверхні обертання, всілякі канавки та виступи. В даному процесі обробляються практично усі конструкційні сталі, ряд кольорових і жароміцних сплавів.

Проведений аналіз показав, що між продуктивністю комплексу і коефіцієнтом використання матеріалу існує взаємна залежність. В результаті, збільшення однієї з характеристик, як правило, спричиняє за собою зменшення іншої, чисельне значення якої бажано також збільшувати. Досягнення цільовою функцією максимуму не відображає усіх вимог до деталей, що виникають при прокатці, які відрізняються складністю геометричної форми і вартістю початкового матеріалу. Причина полягає в можливості збільшення цього показника за рахунок зростання однієї із складових частин при зменшенні іншої, без оцінки допустимості такого рішення. Необхідний обґрунтований компроміс між цими величинами критеріїв, оскільки кожний з них в тій чи іншій мірі є деякою цільовою функцією.

Вибір раціональної стратегії управління для конкретної деталі пропонується проводити, використовуючи ці два критерії. Як узагальнений критерій корисності вибрана відносна швидкість виходу придатного, що характеризує відносну продуктивність лінійного комплексу в одиницю часу. Узагальненим критерієм плати за корисність

прийняті відносні втрати металу, тобто величина, зворотна коефіцієнту використання металу. Завдання вибору стратегії управління для конкретної прокатоної деталі слід формувати в одній з наступних постановок: задається потрібна корисність і вимагається досягти її при можливо менших витратах, або задаються допустимі витрати і вимагається досягти можливо більшої ефективності. Перша постановка справедлива для тих деталей, що мають складну геометричну форму, а друга – при високій вартості початкового матеріалу.

Підставою для формування пріоритетності поступок може служити економічна ефективність зміни приватних критеріїв цільової функції. Так, економічна ефективність від зниження відносної помилки подачі дорівнює:

$$E_1 = \Delta K \cdot \Delta C_1 \cdot H, \quad (6)$$

де ΔK – приріст коефіцієнта використання металу;

ΔC_1 – різниця вартості 1 кг початкового матеріалу і відходів;

H – норма витрати металу на виріб.

Аналіз статистичних даних підприємств, що впровадили комплекси ППП, показує, що вартість відходів складає в середньому 15-20% вартості початкового металопрокату [3].

Мінімізація сумарних витрат часу призводить до приросту обсягу випуску готових виробів, ефективність від цього складає:

$$E_2 = \Delta Q \cdot \Delta C_2, \quad (7)$$

де ΔQ – приріст обсягу випуску;

ΔC_2 – різниця цін 1 кг готового прокату і початкового матеріалу.

Для умов прокатки кожної деталі, що входить в номенклатуру і характеризується відповідними розмірами, виникає задача пошуку компромісного рішення, ефективність якого визначається в основному відносною помилкою подачі і часом подачі. Слід зазначити, що до механізму подачі в лінійному комплексі поперечно-профільної прокатки за умови синхронізації його роботи з частотою обертання валкового інструменту пред'являються суперечливі вимоги. Для підвищення коефіцієнта використання металу за рахунок точної подачі прутка потрібна безударна зупинка в кінцевій точці позиціонування, тобто потрібне гальмування на траєкторії руху. З іншого боку підвищення продуктивності вимагає від механізму подачі максимальної швидкодії. Крім того, прокатка деталей в мінусовому полі допусків і підвищення точності по діаметру досягається збільшенням довжини розгортки ділянки формоутворення на валковому інструменті. При обмеженні на діаметр валка це призводить до зменшення довжини завантажувальної ділянки, де не відбувається формоутворення.

Представлені задачі зводяться до двовимірних задач мінімізації з обмеженнями і відносяться до завдань нелінійного програмування. Оцінка ефективності роботи механізму подачі здійснювалася на основі методу штрафної функції [4], яка визначається мінімальним значенням виразу

$$P(x, R) = \varepsilon_0(x) \cdot t_{nod}(x) + R[\alpha_1 \varepsilon_0(x) - \alpha_2 \cdot t_{nod}'(x)]^2,$$

де $\varepsilon_0(x) \cdot t_{nod}(x)$ – відповідно безрозмірні масштабовані приватні критерії, що відбивають відносну помилку подачі і час подачі;

α_1, α_2 – вагові коефіцієнти, що враховують вагомість приватних критеріїв при виборі умови справедливості поступок;

R – ваговий коефіцієнт, що визначає відносну значущість обмеження та цільової функції.

Висновки. Найбільшої ефективності при рішенні цільових задач досягнуто при використанні подачі з включенням гальмування на ділянці траєкторії руху механізму подачі. Випробування вибраних стратегій управління при прокатці промислових партій деталей різної довжини показало, що для першої постановки завдання коефіцієнт використання металу складає 0.93-0.95 при середній продуктивності 1-1.2дет./с, а для другої – 0.96-0.99 при середній продуктивності 0,6 дет./с. При цьому у першому випадку використовувалося часткове гальмування, а в другому – повне гальмування з безударною зупинкою в кінцевій точці позиціонування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В.И. Автоматизированный радиальный комплекс поперечно-клиновой прокатки / Бойко В.И., Багрий В.В., Лысенко В.Н. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – №5. – С.26-28.
2. Долгов С.Г. Оборудование для холодной поперечно-клиновой прокатки деталей электронной техники / Долгов С.Г., Украинец В.В., Вологодин А.Г. // Электронная техника. – 1986. – Сер7. – Вып. 2 (1350). – С.63-66.
3. Щукин В.Я. Основы поперечно-клиновой прокатки / Щукин В.Я. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 223с.
4. Реклейтес Г. Оптимизация в технике / Реклейтес Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. – М.: Мир, 1986. – 352с.

Надійшла до редколегії 27.06.2014.

УДК 621.771.2-52

БАГРІЙ В.В., к. т. н., доцент
ВОЛОШИН Р.В., магістр
ЖАРОВ І.Д., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПРУТКА В АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСАХ ПОПЕРЕЧНО-ПРОФІЛЬНОЇ ПРОКАТКИ

Вступ. Процес поперечно-профільної прокатки (ППП) використовується для виготовлення деталей типу ступеневих валів та має широкі технологічні можливості. Під час прокатки можливо досягти зменшення діаметра валів в 4 і більше разів. З використанням даного процесу можуть оброблятися практично всі конструкційні сталі, ряд кольорових та жаростійких сплавів. Для умов прокатки на автоматичних комплексах ППП основним фактором, що визначає продуктивність та величину коефіцієнта використання металу, є система управління подачею прутка змінної маси в зону деформації на задану довжину для кожної деталі [1].

Особливістю процесу ППП є зміна довжини прутка в ході прокатки від максимальної початкової величини до нуля по мірі його виробки, а отже змінюється й сумарна маса, яку переміщує механізм подачі. Це призводить до необхідності врахування впливу даного фактора на параметри моделі об'єкта керування під час прокатки.

Постановка задачі. На базі аналітичних моделей технологічного процесу прокатки створити імітаційну модель, необхідну для вибору оптимальних параметрів виконавчих механізмів, розробки стратегій керування, методів та засобів взаємозв'язку підсистем управління агрегатно-модульними комплексами ППП циліндричних деталей.